

ELECTRICAL ENHANCED OIL RECOVERY, MENINGKATKAN PRODUKSI MINYAK MENGGUNAKAN METODA DIRECT CURRENT

Oleh :

Nyoman Witasta

ABSTRAK

Produksi Minyak Indonesia terus menurun dan penemuan eksplorasi tidak signifikan. Dilain pihak Sebagian besar lapangan migas di Indonesia merupakan lapangan tua yang sudah optimal pengurasannya secara primer dan seharusnya sudah masuk ketahap produksi sekunder maupun tersier. Salah satu upaya meningkat produksi adalah dengan teknologi *enhanced oil recovery* yaitu teknologi meningkatkan produksi minyak yang tidak dapat diproduksi secara primer maupun sekunder. Untuk itu perlu terobosan mencari teknologi baru yang tidak membutuhkan investasi besar. Teknologi *electrical enhanced oil recovery (EEOR)* yaitu mengalirkan arus listrik searah (DC) melalui reservoir dapat memperbaiki permeabilitas efektif batuan, tegangan antar muka air dan minyak, dan viskositas, yang berujung pada perbaikan mobilitas minyak dan meningkat produksi. Uji coba EEOR dilakukan disalah satu lapangan tua Sumatera selatan, pada reservoir batupasir sumur sumur XX dan sumur produksi YY. Aplikasi EEOR terbukti dapat meningkatkan perolehan minyak (*recovery factor*), dan meningkatkan produksi minyak dari 6,5 hingga 61 barel per hari, menurunkan kadar air (*water cut*) dari 90-65%, menurunkan *specific gravity* dari 0,89-0,82 *centipoice (cP)* dan meningkatkan *API gravity* minyak dari 31-42.

Kata Kunci : eksplorasi, *electrical enhanced oil recovery*, *recovery factor*, *API gravity*, *water cut*

1. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Electric Enhanced Oil Recovery (EEOR) yaitu mengalirkan arus listrik searah (*Dirrect Current*) melalui reservoir dari suatu titik yang energy potensialnya lebih tinggi ke titik lain yang energy potensialnya lebih rendah (anoda-katoda) antara sumur satu dengan sumur lainnya. Karena teknologi ini menggunakan arus listrik maka disebut sebagai *Ectric Enhanced Oil Recovery (EEOR)*, beberapa peneliti ada yang menyebut *Direct Curent Enhanced Oil Recovery (DCEOR)*. Namun dalam tulisan ini penulis menggunakan istilah *EEOR*, karena sesuai dengan kaedah keteknikan reservoir dan produksi migas yaitu; *Enhanced oil recovery (EOR)*, merupakan pengurusan secara tertsier (*tertiary recovery*) yaitu proses produksi minyak yang tidak bisa diproduksi secara primer maupun sekunder.

Teknologi Elektrokinetik pada mulanya digunakan secara luas di Eropa untuk kepentingan konstruksi maupun kestabilan soil. Di Amerika teknologi tersebut diperkenalkan pertama kalinya tahun 1950 oleh Leo Casagrande dari Universitas Harvard. Tchilingarian (Chilingar) tahun 1950, melakukan beberapa percobaan laboratorium mengenai elektrokinetik yang mengindikasikan

adanya suatu mekanisme yang dapat dilakukan untuk peningkatan produksi minyak tahap *tertiary* atau *enhanced oil recovery* yang lebih dikenal sebagai EOR. Tikhomolova (1993) melakukan kajian yang sama yang dilakukan di Universitas St. Patersburg, juga menyatakan bahwa teknologi mengalirkan arus searah, sangat berpotensi untuk EOR. Hill (1997) melakukan kajian laboratorium yang menyatakan bahwa hidrokarbon juga dapat mengalir karena elektrokinetik. Selanjutnya Pamukcu dkk (1993) dan beberapa mahasiswa Universitas Lehigh, berhasil mendemonstrasikan alat eektrokinetik yang mampu mengalirkan hidrokarbon dari soil dan batu lempung yang terkontaminasi minyak. Penelitian skala laboratorium juga telah dilakukan di Universitas Southern California. Dari *Core* atau batuan inti menunjukkan kemampuannya bahwa batuan yang banyak mengandung mineral lempung mampu mengalirkan *fluida* hingga sembilan kali lipat dibandingkan dengan batuan yang mengandung silika.

Teknologi EEOR sudah dilakukan *field trial*, pengujian langsung di beberapa reservoir batupasir, lapangan minyak di Amerika, Kanada dan Argentina. Di Indonesia teknologi ini pernah dicoba pada reservoir batuan karbonat, lapangan Klamono, Papua. Uji coba berhasil meningkatkan produksi dari 2 BOPD menjadi 9

BOPD, namun saat uji coba tersebut hanya memonitor kenaikan produksi saja.

1.2. Perkembangan Enhanced Oil Recovery Indonesia

EOR adalah salah satu cara untuk meningkatkan cadangan minyak dengan menguras volume minyak yang sebelumnya tidak dapat diproduksi. Secara umum, kegiatan eksploitasi terbagi menjadi tiga fase, yakni primer, sekunder dan tersier. Fase primer adalah fase di mana lapangan baru dikembangkan. Saat produksi mulai turun sejalan dengan penurunan tekanan, kegiatan eksploitasi masuk fase sekunder. Pada fase ini, injeksi air atau gas dilakukan untuk memberikan tambahan energi ke dalam reservoir dan mendorong minyak mengalir ke sumur-sumur produksi. Setelah fase sekunder, kegiatan eksploitasi masuk fase tersier. Biasanya pada fase ini EOR diterapkan. Untuk kasus tertentu kegiatan EOR dapat langsung diterapkan tanpa melalui fase primer atau sekunder, misalnya Lapangan Duri yang memiliki kandungan minyak yang sangat kental, yang dikenal sebagai *Duri Steam Flood (DSF)*.

Ada beberapa metode EOR, yakni *thermal*, *gas miscible* dan *chemical flooding*. Metode *thermal* dan *gas miscible flooding* dipilih untuk mengubah karakteristik fluida. Sedangkan *chemical flooding* dapat mengubah karakteristik fluida dan reservoir. *Thermal flooding* membuat minyak yang kental menjadi lebih encer. *Miscible gas flooding (CO₂)* yang bila tercampur di larutan minyak pada kondisi tertentu akan mengubah karakteristik minyak sehingga densitasnya turun dan mudah dialirkan ke sumur-sumur produksi. Selain itu, EOR juga bisa dilakukan dengan menginjeksikan bahan kimia. Ada dua jenis bahan kimia yang digunakan. Pertama, surfaktan yang bisa melepaskan minyak yang menempel pada batuan. Kedua, polimer yang berfungsi membuat air menjadi lebih kental sehingga bisa mendorong minyak ke sumur produksi dengan lebih baik.

Persiapan EOR memerlukan waktu yang cukup lama karena kegiatan ini melibatkan kapital yang sangat besar sehingga perlu upaya-upaya untuk memitigasi risiko. Persiapan dimulai dengan studi karakteristik fluida, batuan, dan kinerja reservoir serta menentukan metode EOR apa yang cocok untuk digunakan. Apabila metode yang dipilih menggunakan bahan kimia yang belum terbukti akan bekerja seperti diharapkan,

perlu dilakukan *field trial* untuk melihat bagaimana kinerja bahan kimia yang digunakan. Luasan yang digunakan dalam *field trial* tergolong kecil dengan jarak antara sumur injeksi dan produksi sekitar 100 meter. Apabila hasil *field trial* menunjukkan bahan kimia yang digunakan bisa bekerja, proses EOR berlanjut pada pilot project. Hasil *pilot project* digunakan untuk menentukan apakah pengembangan lapangan dengan metode EOR komersial atau tidak. Mengacu pada kegiatan *Chemical EOR* yang saat ini sedang dilakukan di Lapangan Kaji dan Minas, total waktu yang diperlukan untuk sampai tahap pilot saja lebih dari 10 tahun. Lapangan Duri dengan *steamflood*, total waktu dari persiapan hingga pengembangan selama 19 tahun.

EOR diperlukan untuk memaksimalkan nilai ekonomi suatu lapangan minyak. Volume minyak di reservoir tidak semua menjadi cadangan minyak yang dapat diproduksi, maksimal hanya 40 persen. Volume minyak yang tidak bisa diproduksi di Indonesia sekitar 45 miliar barel. Seandainya 5 persen saja dari minyak tersebut bisa diambil, cadangan minyak Indonesia bisa bertambah lebih dari 2 miliar barel. Untuk bisa mengangkatnya, perlu EOR. Tetapi kenaikan produksi EOR akan diperoleh dalam jangka panjang. Namun tingkat kepastian EOR lebih tinggi dibanding eksplorasi karena volume cadangan minyak yang ada di suatu lapangan sudah bisa dipastikan. Sebagai ilustrasi, apabila Minas dan Kaji bisa komersial, penambahan cadangan diperkirakan sebesar 850 juta barel.

Di Indonesia, EOR baru berhasil diterapkan di Lapangan Duri dengan metode steam. Dengan EOR, Lapangan Duri mampu mengangkat 80 persen dari volume minyak yang berkisar 4,5 miliar barel. Tanpa EOR, Lapangan Duri hanya mampu menguras kurang dari 10 persen. Kegiatan EOR dengan memanfaatkan bahan kimia dilakukan di Lapangan Minas dan Lapangan Kaji. Lapangan Minas masih dalam tahap *field trial*. Sementara Lapangan Kaji masih pada tahap *pilot project*. Keduanya menunjukkan hasil yang sangat bagus. Lapangan Kaji merupakan lapangan pertama di dunia yang menerapkan *Chemical EOR* dengan menggunakan surfaktan polimer pada batuan karbonat dan secara teknis berhasil. Indonesia juga memiliki *pilot project* di *offshore*, yaitu Lapangan Widuri, yang menggunakan metode *polymer flooding*. Ada juga beberapa lapangan

yang masih dalam tahap studi di antaranya dengan metode CO2.

Banyak kendala yang muncul Ketika ingin melaksanakan EOR antara lain; masalah non-teknis. kontraktor kontrak kerja sama (kontraktor KKS) membutuhkan kepastian

hukum perpanjangan pengelolaan lapangan karena, EOR umumnya diterapkan mendekati akhir masa kontrak. Apabila tidak ada kepastian perpanjangan wilayah kerja, operator enggan melakukan pilot EOR karena biaya yang dibutuhkan sangat besar.



Gambar 1. Tahapan Produksi Migas

Penurunan produksi migas terus berlanjut, dilain pihak penemuan cadangan juga tidak signifikan. Selain *Duri Steam Flood (DSF)*, pengurusan produksi secara konvensional EOR lainnya belum berjalan, dan membutuhkan waktu lama serta investasi besar Sedangkan konsumsi migas Indonesia terus meningkat dari tahun ketahun. Hingga sekarang total hanya sekitar 54,6% konsumsi minyak nasional yang mampu dipenuhi dari produksi minyak dalam negeri dan sisanya harus melalui impor. Pemerintah telah menetapkan target capaian produksi siap jual (lifting) minyak bumi dalam Rancangan Anggaran Pendapatan dan Belanja Negara (RAPBN) 2021 sebesar 705 BOPD dan Gas 1,007 BOEPD. Target tersebut lebih rendah dari tahun 2020 yaitu 755 ribu barel per hari. Jika tidak ditemukan terobosan baru atau teknologi lain untuk meningkatkan lifting migas, maka Pemerintah pasti akan membutuhkan anggaran extra besar untuk melakukan impor minyak di tahun mendatang. Apalagi dengan kondisi lapangan migas Indonesia saat ini sebagian besar merupakan lapangan tua dan pengurusan secara

primer sudah hampir optimum. Seharusnya sudah berpaling ke metoda peningkatan produksi tahap *secondary (Water Flood)* dan *Tertiary atau Enhanced Oil Recovery*. Namun, dengan kondisi harga minyak global sekarang, kemungkinan investor tidak berani mengambil resiko untuk investasi yang besar. Mau atau tidak mau Indonesia harus mencari dan menerapkan teknologi alterbnatif yang baru dan murah. Pemerintah melalui Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) diminta mendorong Kontraktor Kontrak Kerja Sama (KKKS) untuk mencari terobosan teknologi yang murah dan berbagai metoda untuk meningkatkan produksi Migas Nasional paling tidak dapat menjaga laju penurunan produksi.

1.3. Konsep Dasar *Electrical Enhanced Oil Recovery (Eeor)*

Meengalirkan arus DC kedalam reservoir yang mengandung hidrokarbon, akan terjadi reaksi elektrokimia disamping mengakibatkan menurunnya tegangan antar muka minyak-air

(*interfacial tension*), dan menurunnya viskositas minyak dan akhirnya akan meningkatkan mobilitas dan produksi minyak. Mekanisme utama penurunan *interfacial tension* disebabkan oleh adanya reaksi elektrolisis air formasi (*hydroxyl ions OH-*) dalam impuritis minyak (*carboxylic acid*) hal ini analog sebagai fungsi surfactant. Reaksi elektrokimia juga dapat memecahkan atau *cracking* struktur molekuler minyak menjadi komponen lebih ringan dan viskositas lebih rendah. Akibatnya fraksi minyak mentah termasuk *Saturate, Aromatics, Resin, dan Asphaltenes* (SARA) akan terpengaruh. Karena kadar aspal dan resin dari minyak dalam reservoir berkurang dan kandungan aromatik meningkat, maka viskositas minyak berkurang. Semakin rendah viskositas minyak akan semakin mudah mengalir dan diproduksi.

Mekanisme Elektrokinetik yang terjadi dalam *Electrical Enhanced Oil recovery (EOR)* adalah :

1. *Joule Heating*

Batuan reservoir dipanaskan oleh aliran listrik yang melewati fluida dan solid dalam reservoir. Mengakibatkan temperatur reservoir meningkat dan menurunkan viskositas minyak.

2. *Electro Migration*

Pergerakan komponen ion terlarut, seperti kation dan anion akibat pengaruh medan listrik. Seperti Asphaltin sebagai muatan negative akan bergerak kearah anoda.

3. *Electrophoresis*

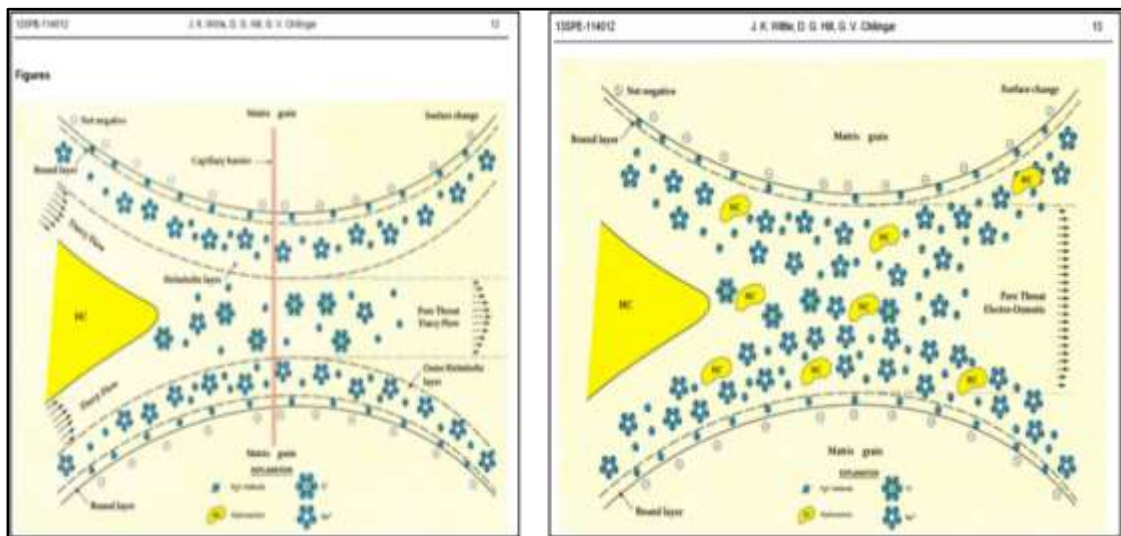
Partikel koloid yang tersuspensi dalam larutan, juga akan bermigrasi dibawah pengaruh medan listrik, sama halnya dengan *electro migration*. Karena lempung umumnya bermuatan negative, maka akan menjauh dari katoda dan menuju anoda. Proses ini dapat membersihkan pori-pori yang tersumbat dan meningkatkan permeabilitas.

4. *Electroosmosis*

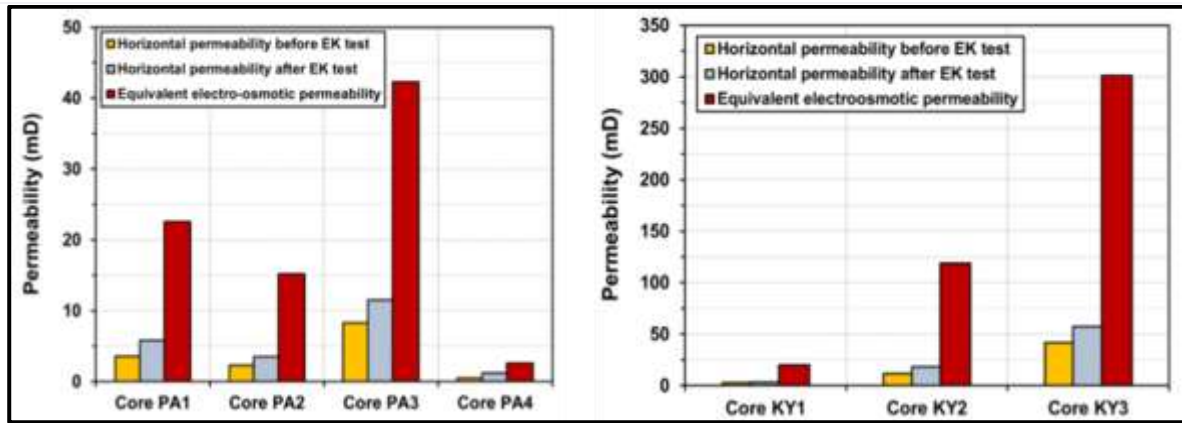
Lapisan ganda *helmholtz* yang terbentuk dekat air konat, memungkinkan kation terhidrasi dan molekul air melewati pori pori batuan (*pore throats*) namun menghalangi terjadinya dehidrasi anion, mengakibatkan meningkatkan permeabilitas reservoir.

5. *Electrochemically Enhanced Reaction*

Reaksi antara fluida pori batuan dan matrik meningkat oleh EH/PH yang disebabkan oleh aliran arus listrik. Reaksi yang meningkat secara elektrokimia mengakibatkan semakin meningkat juga pemutusan rantai hidrokarbon yang kompleks, dan menghasilkan hidrokarbon yang lebih sederhana, akibatnya viskositas lebih baik dari komponen aslinya dan meningkatkan energi reservoir.



Gambar 2: Aliran Hidrokarbon Dalam Pori Batuan Akibat Efek Elektrokinetik



Gambar 3. Perubahan Permeabilitas Batuan Sebelum Dan Sesudah Electrokinetic Test

Pada dasarnya ada tiga faktor fisik menurut Thakur (1994) yang menyebabkan saturasi minyak tersisa banyak setelah pemulihan minyak secara primer (*Primary Recovery*) dan sekunder (*Secondary Recovery*) sehingga memerlukan pengangkatan secara *tertiary (EOR)* diantaranya adalah viskositas minyak yang tinggi, tegangan antar muka minyak-air (*Interfacial forces*,) dan heterogenitas reservoir. Hasil Riset dan percobaan labrtorium paling penting untuk menjastifikasi uji coba EEOR ini adalah riset mengenai permeabilitas dan spesifik grafiti.

1. Chilingar telah melakukan penelitian menggunakan teknologi elektrokinetik untuk produksi minyak bumi dari dua core berbeda yaitu sintetik core dan core batupasir dan hasilnya bahwa dengan elektrokinetik kedua *core* tersebut mampu mengalirkan fluida dengan *flow rate* sejumlah 34 kali lipat. Demikian pula permeabilitas efektif meningkat hingga 50%.

Field trial aplikasi EEOR yang dilakukan dilapangan minyak berat Santa maria (California) basin dan alberta juga berhasil meengencerkan minyak berat (*cracking heavy oil*), menurunkan *water cut* dan meningkatkan produksi minyak. Di Lapangan California mampu meningkatkan produksi minyak hingga 10 kali lipat dengan API gravity 8.

2. Haroun melakukan uji *core flood* yaitu sebelum *water* dan sesudah *water flood recovery*, dan *core* yang telah dijenuhi

dengan minyak lalu diuji di laboratorium. Dan EEOR bersamaan dengan *water flood* mampu *recovery* minyak 1,5-4% lebih banyak minyak dan menurunkan kebutuhan air injeksi antara 15-22%, dibandingkan dengan hanya *water flooding* saja. Haroun juga melakukan percobaan *core* batupasir untuk menguji permeabilitas dan ternyata dengan aplikasi EEOR permeabiitas meningkat 30%.

3. Jihong (Jihong et al., 2009) dalam penelitiannya, melakukan *water flood* bersamaan dengan aplikasi EEOR pada viskositas minyak 8, aliran minyak (*oil rate*) meningkat lebih dari 5%
4. Ghazanfari et al.,2012, 2013b) melakukan beberapa kali Analisa laboratorium menggunakan *core* sampel yang yang jenuh minyak, diambil dari reservoir dangkal di Kentucky untuk mngetahui kemampuan ekstraksi minyak dan permeabilitas batuan dengan aplikasi EEOR.
5. Penelitian laboratorium juga menunjukkan bahwa akibat reaksi *electrochemical* akan terjadi penurunan tegangan antar muka minyak-air, demikian juga penurunan viskositas minyak dan akhirnya meningkatkan mobilitas minyak. Penurunan surface tension karena terjadi reaksi elektrolisis air formasi (ion hydroxyl, OH-) dalam pengotor minyak yang berupa asam (*carboxylic acids*). Reaksi *electrochemical* juga membantu pergerakan minyak dengan memecah struktur molekul berat menjadi

komponen lebih ringan dengan viskositas lebih rendah (Wittle et al.,2007).

- Penelitian skala laboratorium yang dilakukan di Universitas Southern California. Dari *core* atau batuan inti menunjukkan kemampuannya bahwa batuan yang mengandung mineral lempung mampu mengalirkan fluida hingga sembilan kali lipat dibandingkan dengan batuan yang mengandung silika.

1.4. Field Trial Electric Enhanced Oil Recovery (EEOR)

Beberapa uji coba EEOR telah dilakukan oleh *General Electric (GE)* dan *Electro Petroleum* di lapangan minyak berat Santa Maria Basin California, USA, *Lloydminster heavy oil belt*, Alberta, Saskatchewan Kanada, dan Golfo San Jorge Basin, Santa Cruz, Argentina.

1.5. Santa Maria

Karakter reservoir Lapangan Santa Maria, merupakan batupasir lepas (unconsolidated) dengan ketebalan 100 feet, berada dikedalama 2,800 feet. Uji coba dilakukan selama 6 tahun meliputi analisa laboratorium. Hasil uji coba EEOR mampu meningkatkan produksi 10 kali lipat dari *baseline* produksi. *Water cut* turun hingga 25%, API gravity meningkat dari 8,1-10,7 derajat. Perubahan viskositas, API gravity konsisten dengan *cold cracking*, EEOR mengurai molekul complex hidrokarbon menjadi lebih sederhana dan minyak menjadi semakin ringan, karena proses *electrochemical*.

1.6. Golfo San Jorge Basin, Santa Cruz, Argentina

Uji coba EEOR dilakukan selama periode 51 hari (Stainoh, 2011), reservoir kedalaman 820 meter, terdiri dari perselingan batupasir tufan, terkonsolidasi baik, berumur Cenozoic (Sylwan, 2001) ketebalan sekitar 66 feet, berupa endapan braided stream. Base line produksi 11,46 BOPD, 15,17 API gravity. Rata rata produksi dengan EEOR 69,79 BOPD, 61% water cut. Terjadi peningkatan produksi hamper 5 kali lipat dan penurunan water cut (kadar air) 34%.

Produksi unsur hidrokarbon ringan (C1-C9) dan dan H2 (hydrogen) selain C1 konsisten terhadap *cold cracking*.

Tabel 1. Hasil Field Trial DCEOR/EEOR, Lapangan Santa Maria basin (California, USA)

Item	Baseline Production	DCEOR Production
Production Rate (BOPD)	5	50
Water Cut %	45	12
Oil API Gravity	8.1	10.7
Gas Production (SCFPD)	1750-2000	3800
Production Gas Energy Content (BTU/SCF)	1.197	1.73
H2S Content (ppm)	2290	2-40
Viscosity (cp@100C)	5174	21275

Sumber : after Wittle and Hill, 2006a, 2006b; Wittle et al., 2008a, 2008b, 2011

Tabel 2. Field Trial Dan Perubahan Komposisi Gas Akibat DCEOR/EEOR

Hydrocarbon Species	Baseline (%)	DCEOR (%)
C1	85.4	45.89
C2	2.06	4.22
C3	2.60	10.02
iso C4	0.53	2.65
n-C4	1.35	6.93
iso C5	0.69	3.76
n-C5	0.63	3.42
C6	0.79	3.99
C7	0.57	2.57
C8	0.29	0.56
BSA	0.46	0.19
H2		12.90

Sumber : after Wittle and Hill, 2006a, 2006b; Wittle et al., 2008a, 2008b, 2011

1.7. Lloydminster Heavy Oil Belt, Alberta, Kanad

Uji coba dilakukan kurang lebih dua tahun termasuk melakukan analisa laboratorium. Reservoir terdiri dari *unconsolidated braided stream sand* ketebalan 11 meeter. Produksi dasar (*base line production*) 1.32 BOPD (minyak berat). Setelah EEOR produksi meningkat menjadi 5,78 BOPD, *water cut* turun dari 23-2,8% dan viskositas minyak turun dari 10,2 menjadi 6,2 derat centipoice. *Fluid level* juga naik hingga 60m.

Dari hasil uji coba lapangan di Santa maria, Lloydminster dan Golfo San Jorge basin, EEOR mampu mengubah komposisi kimia minyak. Secara laboratorium dilakukan Analisa minyak yang dari jenis minyak berat California dengan Gas *Chromatograph-Mass Spectroscopy analysis*, kebanyakan molekul berat hidrokarbon berkurang, sementara molekul hidrokarbon yang lebih sederhana/simple meningkat, akibat dari aplikasi EEOR selama 74 hari. Analisa viskositas juga dilakukan untuk sample minyak berat California, menunjukkan penurunan viskositas pada temperature tetap secara signifikan. Hasil lab tersebut konsisten terhadap

hasil uji coba lapangan di Santa maria, Lloydminster dan Golfo San Jorge Basin.

Tabel 3. Peningkatan Produksi *Field Trial DCEOR/EEOR*

Item	Baseline Production	DCEOR Production
Production Rate (BOPD)	1.32	5.78
Water Cut %	31	2,8
Oil API Gravity	NA	NA
Gas Production (SCFPD)	0	Minimal
Production Gas Energy Content (BTU/SCF)	0	0
H2S Content (ppm)	0	0
Viscosity (cps@50C)	10275	6230

Item	Baseline Production	DCEOR Production
Production Rate (BOPD)	11.46	69.79
Water Cut %	96	61
Oil API Gravity	15.17	18.42
Viscosity (cps@50C)	2854	640

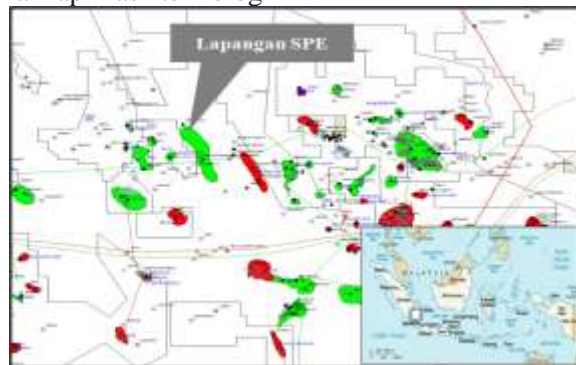
Sumber : - after Wittle et al., 2008c1
 - After Stainoh, 2011

1.8. Percobaan Aplikasi Eeor (*Field Trial*) Di Indonesia

Uji coba EEOR pertama kali di Indonesia dilakukan tahun 2011, pada reservoir Karbonat, lapangan Klamono, Pertamina EP bekerjasama dengan Pertamina *Upstream Technology Center*. Dari uji coba tersebut berhasil meningkatkan produksi dari 1,5 barel minyak per hari menjadi 7,5 barel per hari. Hasil *pilot test* juga dimuat dimajalah Pertamina (Kiprah Anak Perusahaan” Majalah Pertamina no.18 tahun XLVII, 2 Mei 2011). Dengan keberhasilan aplikasi teknologi

EEOR, baik secara laboratorium maupun secara aplikasi lapangan antara lain di California, Santa Barbara dll, maka uji coba teknologi EEOR di Indonesia akan bisa menjadikan terobosan dalam rangka mendapatkan teknologi baru, peningkatan produksi migas Indonesia.

Penelitian ini akan membahas hasil uji coba teknologi EEOR yang dilakukan di Lapangan SPE Sumatera selatan. Lapangan SPE merupakan salah satu lapangan tua yang ditemukan tahun 1916 oleh Bataafsche Petroleum Maatschappi (BPM). Jumlah sumur yang telah dibor kurang lebih 710 sumur dan sumur yang aktif hany 25 sumur. Sisanya banyak sumur yang tidak berproduksi selain karena masalah teknis banyak juga masalah keekonomian karena produksinya terlalu kecil dan *water cut* sangat tinggi, itulah sebabnya diperlukan upaya mencari teknologi yang mampu produksi minyak baik secara sekunder maupun tersier.



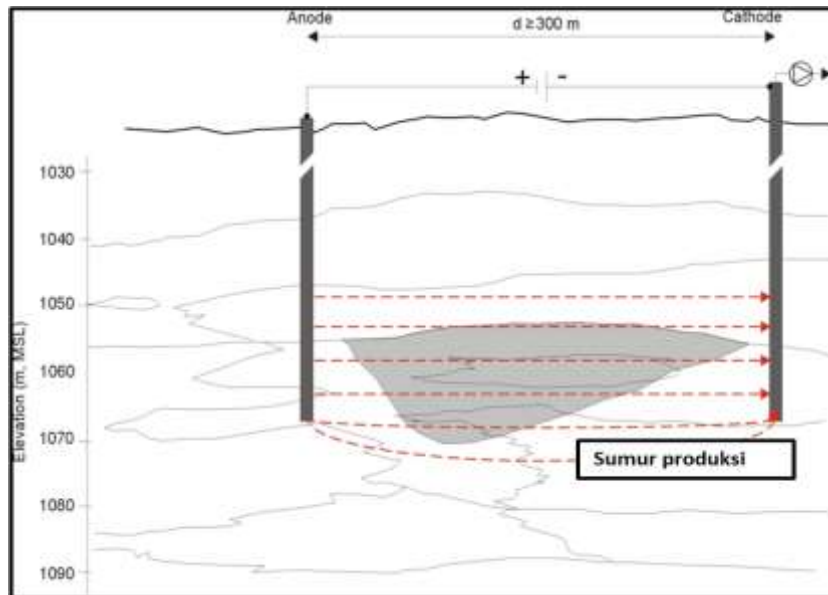
Gambar 4. Lokasi Uji coba aplikasi *Electric Enhanced Oil Recovery*

2. METODA KERJA

Dengan mengalirkan arus searah (DC) dari satu sumur ke sumur produksi minyak, dapat mengaktifkan fenomena Elektro Kinetik (EK) sekitar antarmuka padat-cair di dalam media berpori (reservoir), dapat memobilisasi, mengangkut dan mengubah zat terlarut, maupun koloid yang berada dalam ruang media berpori atau di sekitar dinding pori batuan dari satu elektroda ke elektroda yang lain

Konsepnya mengalirkan arus listrik se arah melalui lapisan reservoir minyak sehingga terjadi fenomena atau reaksi elektrokinetk, yakni *electroosmosis* yang menyebabkan lebih lebarnya leher pori batuan yang sempit akibat hidrasi air, *electro migration*, yaitu pola

pergerakan ion positif dan negatif yang terlarut, dan *electrophoresis* yaitu pola pergerakan partikel-partikel padat yang halus tersuspensi. Proses elektrokinetik tersebut dapat memperbaiki permeabilitas efektif reservoir yang berujung pada peningkatan produksi. Selain fenomena di atas ada fenomena *electro chemical-geo oxidation* (ECGO) dimana terjadi reaksi kimia kompleks seperti elektrolisa air formasi (*redoks*) yang berujung pada pemutusan komponen rantai hidrokarbon yang panjang menjadi lebih sederhana. Hal ini dikenal dengan istilah *cold cracking*. Dampaknya adalah antara lain terjadi peningkatan *API gravity* minyak yang berkorelasi dengan penurunan viskositas minyak. Tentu saja hal ini secara teknis berpengaruh pada peningkatan produksi minyak.



Gambar 5. Electrode Electric Enhanced Oil Recovery (EEOR)

Adanya komponen hasil reaksi oksidasi dan reduksi akan bereaksi dengan minyak sehingga memecah molekul minyak berat menjadi molekul minyak yg lebih ringan dan memudahkan mobilitas minyak mengalir ke sumur produksi.

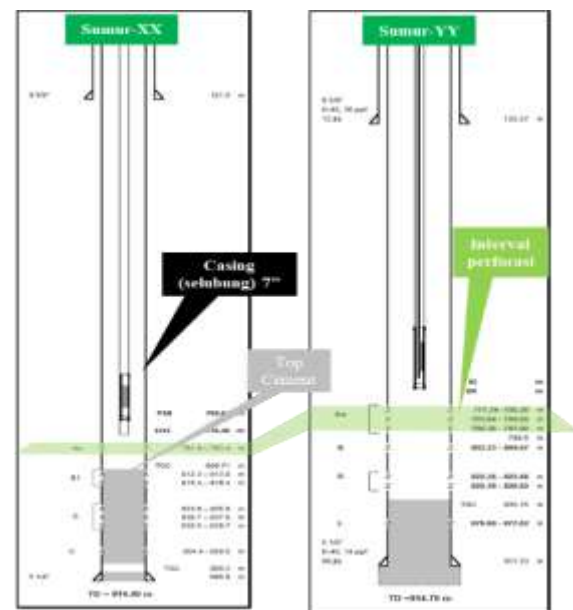
Uji coba EEOR dilakukan dengan menggunakan dua sumur yaitu satu sumur mati (*idle/shut in well*) sebagai sumur Anoda, sekaligus berfungsi sebagai injector dan satu sumur lainnya yaitu berfungsi sebagai sumur katoda sekaligus sebagai sumur produksi. Agar arus listrik bisa mengalir menuju sumur produksi maka pada saat pemilihan sumur harus memperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Ketersediaan listrik antara 380-480 Volt, 50-60 Hz dan 16 Amper
- Minimal tersedia dua sumur dengan kondisi salah satu sumurnya merupakan sumur produksi minyak, dan diperkirakan masih terdapat sisa cadangan minyaknya
- Kondisi geologi antara kedua calon sumur antara lain; lapisan reservoir menerus, tidak ada perubahan facies maupun patahan.
- Kedudukan perforasi kedua sumur berada pada reservoir yang sama
- Jarak ideal *sub surface* antara sumur injeksi dan produksi antara 200-350 meter
- Data produksi sumuran dan data profile sumur untuk mengetahui kedudukan

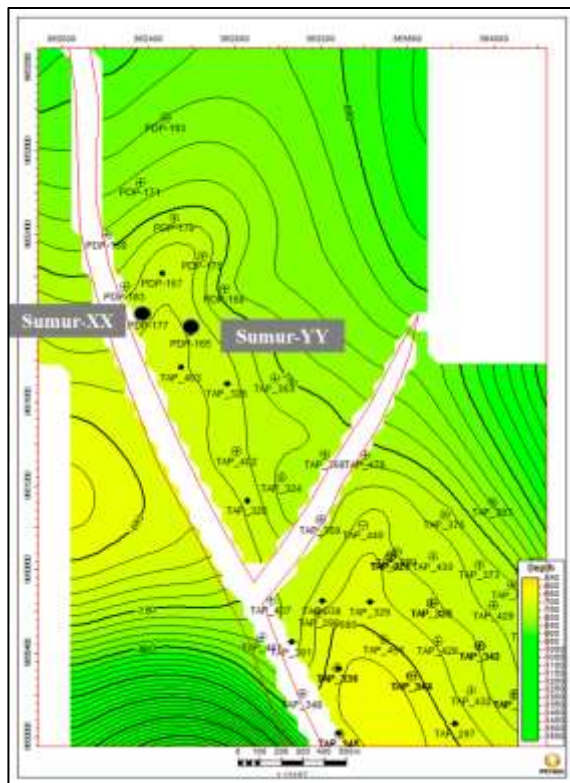
selubung (casing) yang akan berfungsi sebagai penghantar arus ke zona perforasi

- Disepakati selama uji coba teknologi, tidak ada pekerjaan stimulasi lainnya, workover maupun pergantian atau perubahan setting depth dan parameter pemompaan, kecuali ada situasi yang diakibatkan oleh teknologi EEOR.

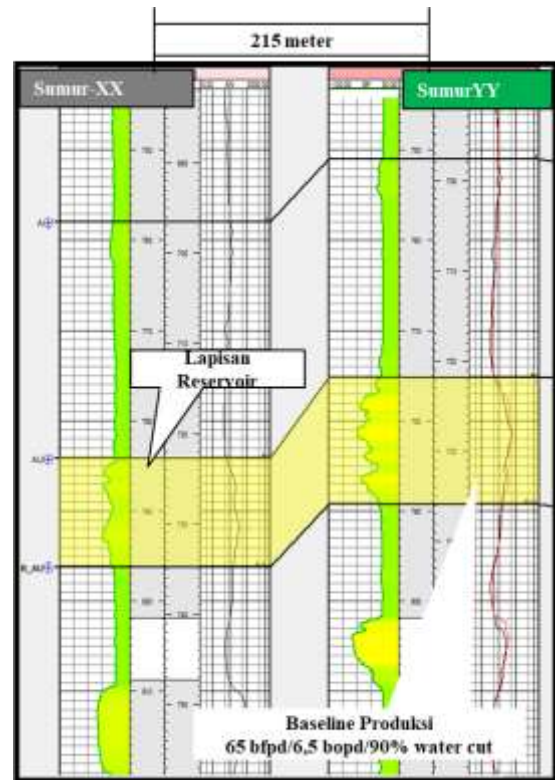
2.1. Pemilihan Sumur



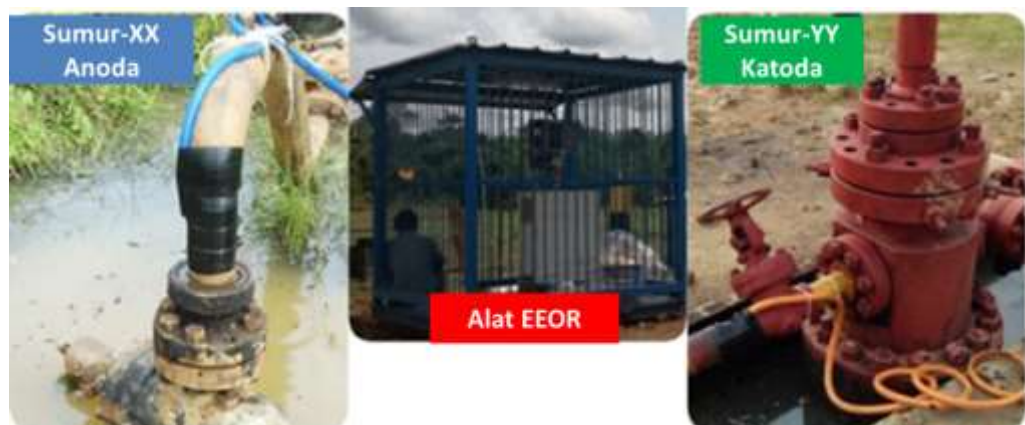
Gambar 6. Profil sumur XX dan YY, meliputi kedudukan casing, interval perforasi dan puncak cement



Gambar 7. Peta struktur kedalaman lapisan reservoir dan posisi sumur XX dan YY



Gambar 8. Korelasi kemenerusan secara lateral reservoir



Gambar 9. Posisi Kabel Mengalirkan Arus DC Melalui Casing Sebagai Penghantar, Selanjutnya Mengalir Kedalam Reservoir Melalui Pelubangan Perforasi

Secara umum karakter reservoir dan fluida lapangan SPE adalah sbb:

1. Reservoir Batuasir Formasi Talang akar (TAF) dan Gumai (GUF)
2. Porositas 10-24%
3. Permeabilitas 10-350 mD
4. Reservoir temperature: 70 C
5. Tekanan Reservoir 100-600 PSI
6. API gravity minyak 30-33 API
7. Viscositas Minyak 23-27 C
8. Salinitas air 16000-20.000 PPM

Data dasar yang akan dipakai dalam evaluasi uji coba EEOR adalah data sumur produksi terpilih yang digunakan dalam uji coba. Secara teknis sumur-sumur yang ada di Lapangan SPE merupakan sumur vertical sehingga kordinat dipermukaan dapat diasumsikan sama dengan kordinat di bawah permukaan. Pemilihan calon sumur dilakukan sesuai dengan kriteria yang telah ditentukan dan dengan pertimbangan teknis, ketersediaan listrik dan akses jalan, maka ditentukan bahwa sumur-XX sebagai injector (anoda) dan sumur-YY sebagai producer

(katoda), kedua sumur tersebut merupakan sumur vertical dengan jarak 215 meter. Sebelum uji coba, dilakukan pembersihan sumur, sirkulasi dan pergantian pompa, agar hasil uji coba tidak bias. Data produksi akhir sebelum EEOR disepakati bahwa sebagai base line produksi sumur-YY: 16,5 *barrel fluid per day* (BFPD), 6,5 *barrel Oil per day* (BOPD) dengan *water cut* 95%, *Specific gravity* (SG) 0,89, dn API minyak 31 API. Selanjutnya data produksi dan sifat fisik minyak tersebut akan menjadi dasar acuan untuk membandingkan produksi minyak uji coba alat EEOR. Setelah unit EEOR diposisikan pada tempatnya dan semua kabel dikedua sumur telah dipasang dengan baik sesuai prosedur, maka listrik dari genset dapat dihubungkan ke unit EEOR. Selanjutnya memastikan aliran listrik mengalir dengan baik melalui keseluruhan sistem peralatan yang ada. Langkah terakhir adalah melakukan *setting power* arus listrik yang optimal untuk kondisi awal, selanjutnya akan di atur sesuai dengan karakteristik reservoir dan fluidanya.

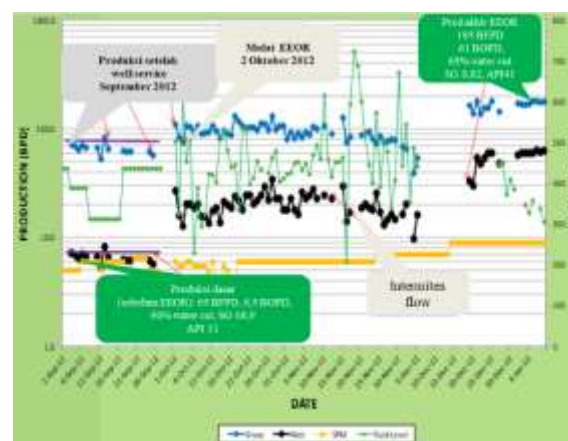
3. MONITORING DAN PEMBAHASAN

Monitoring utama yang dilakukan setelah mengalirkan arus DC adalah, adanya aliran arus dari sumur injeksi (Anoda) ke sumur produksi (Katoda) untuk mengetahui kemenerusan secara lateral reservoir yang akan di uji. Jika tidak ada output arus DC ke sumur produksi, dimungkinkan ada gangguan patahan atau perubahan *facies* reservoir antara sumur injector dan sumur produksi. Dan selanjutnya segera diganti dengan sumur alternatif lainnya.

Selanjutnya dilakukan monitoring produksi harian, meliputi gross produksi yaitu jumlah air dan minyak, produksi minyak (*net Oil*), kenaikan *fluid level* sumur untuk evaluasi kinerja pompa dan melakukan uji laboratorium *specific gravity* dan *API gravity* minyak. Analisa lainnya akan dilakukan kesebandingan dengan hasil riset skala laboratorium dan uji lapangan yang telah dilakukan di Amerika, Kanada dan Argentina.

Uji coba EEOR dilakukan kurang lebih selama tiga bulan yaitu mulai Oktober 2012 hingga Januari 2013. Kenaikan produksi mulai signifikan tiga minggu setelah dimulainya EEOR. Namun Ketika produksi gross mencapai 140 *barrel fluida per hari* dan produksi minyak 40 *barrel per hari*, terjadi *over flow*, dimungkinkan terjadi akibat meningkatnya aliran dan tekanan

fluida dari dalam reservoir. Upaya meningkatkan kecepatan pompa angguk dengan meningkatkan SPM (*stroke per menit*) tidak mampu mengatasinya sehingga produksi menurun. Akhirnya aliran arus DC dihentikan dan dilakukan *well service*, perubahan *setting depth* pompa dan dilakukan pembersihan lubang sumur. Selanjutnya EEOR dipasang kembali dan produksi terus meningkat hingga mencapai 185 *barrel fluida per hari*, minyak 61 *barrel per hari* dan *water cut* 65%. Selama kurun waktu tiga bulan berhasil meningkatkan produksi sembilan kali lipat dari semula dan menurunkan *water cut* dari 90 menjadi 65%.



Gambar 10. Hasil Plot Produksi Sumur YY, Selama Fied Trial

Selain monitoring produksi dilakukan monitoring sifat fisik fluida minyak. Analisa laboratorium telah dilakukan dan makin hari kehari produksi minyak EEOR menunjukkan sifat fisik yang berubah antara lain SG dari 08,9 menurun menjadi 08,2 akibatnya API minyak juga semakin ringan yaitu dari 31 API menjadi 41 API.

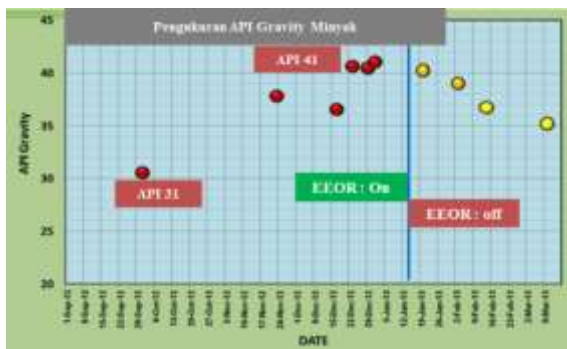
Adanya perubahan *specific gravity* (SG) mengakibatkan semakin ringan minyak dan mobilitas minyak semakin baik. Hal ini sebagai kontrol utama meningkatnya produksi minyak akibat dari aliran listrik arus searah. Terjadinya perubahan yaitu meningkatnya produksi minyak, menurunnya kadar air dan sifat fisik batuan menunjukkan konsistensi antara hasil laboratorium dan uji coba peneliti terdahulu yang dilakukan di Amerika, Kanada dan argentina, terhadap hasil uji coba EEOR yang dilakukan di Lapangan SPE. Secara kualitatif dimungkinkan terjadi juga perubahan permeabilitas reservoir sesuai dengan penelitian laboratorium dan percobaan lapangan yang dilakukan peneliti terdahulu.



Gambar 11. Hasil produksi sebelum dan sesudah dilakukan uji coba EEOR



Gambar 12. Penurunan Specific Gravity (SG) Minyak hasil EEOR



Gambar 13. Peningkatan API Gravity Minyak, Selama Field Trial EEOR

Peningkatan produksi dan perubahan spesifik gravity minyak pada aplikasi EEOR dalam reservoir minyak telah banyak dibahas dan telah dilakukan percobaan laboratorium demikian juga *field trial*. Peningkatan produksi antara lain disebabkan oleh adanya fenomena Elektrokinetik yaitu proses pemisahan dan akumulasi muatan listrik sebagai akibat dari pergerakan fluida yang bersifat elektrolit pada medium berpori (Grandis, 2005).

Peningkatan produksi sumur-YY, sangat konsisten dengan yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu. Mekanisme mengalirkan arus searah antara sumur-XX ke sumur-YY, mengakibatkan terjadi proses electro kinetic, antara lain adanya penurunan interfacial antara

muka, peningkatan permeabilitas batuan, dan pemecahan molekul-molekul berat minyak sehingga menjadi ikatan yang lebih sederhana sehingga mempengaruhi specific gravity dan API minyak.

Mengacu hasil riset yang dilakukan oleh peneliti elektrikal EOR di laboratorium dan uji coba lapangan menjelaskan bahwa; ketika batuan dialiri arus searah maka akan terjadi perubahan permeabilitas karena terjadinya reaksi elektrokinetik. Reservoir Sumur-YY terdiri dari batupasir lempungan (*shally sand*) dan kandungan clay sebagai matrik dan cement batuan dan lebih menguntungkan karena secara laboratorium mampu meningkatkan permeabilitas yang lebih bagus dari batu pasir silika.

Peningkatan produksi sumur sumur-YY, merupakan produksi tahap tersier atau EOR karena terjadi perubahan sifat fisik dan terjadi perubahan tegangan muka.

Mengacu pada penelitian yang dilakukan oleh Ehsan Ghazanfari, Lehigh University, 2013 bahwa faktor pertama yang mengontrol kenaikan produksi minyak pada lapisan reservoir yang dialiri listrik searah adalah akibat adanya perubahan permeabilitas, adanya penurunan tegangan antar muka dan transformasi elektro kimia minyak yang mempengaruhi viskositas, sehingga mobilitasnya meningkat.

4. KESIMPULAN

Electric Enhanced Oil Recovery (EEOR) yaitu mengalirkan arus listrik searah (*Direct Current*) melalui reservoir sumur-XX ke sumur produksi YY, yang diaplikasikan di lapangan SPE dapat meningkatkan produksi minyak dari 6,5 hingga 61 barel per hari, menurunkan kadar air (*water cut*) dari 90-65%, menurunkan specific gravity dari 0,89-0,82 Cp dan meningkatkan °API minyak dari 31-42. Selain dapat meningkatkan faktor perolehan minyak (*Recovery Factor*) dari suatu cadangan migas, juga ramah lingkungan karena tidak ada material air maupun kimia yang masuk ke dalam *reservoir*, peralatannya sederhana dan tidak membutuhkan investasi yang besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Al Shalabi, E. W., Haroun, M., Ghosh, B., Pamukcu, S., (2012), The Application of Direct Current Potential to Enhancing Waterflood Recovery Efficiency, *Journal of Petroleum Science and Technology*, Taylor & Francis, DOI: 10.1080/10916466.2010.547902, Vol. 30, issue 20, pp. 2160-2168.
- [2] Alshawabkeh, A. N. and Acar, Y. B. (1996), Electrokinetic Remediation: II. Theory, *Journal of Geotechnical Engineering*, ASCE, 122(3): 186-196.
- [3] Amba S.A., Chilingar G.V., Beeson, C. M., (1964), Use of Direct Electrical Current for Increasing the Flow Rate of Reservoir Fluids during Petroleum Recovery: *Journal of Canadian Petroleum Technology*, vol. 3, No. 1, pp. 8 - 14.
- [4] Chilingar, G. V., M., Haroun, Electrokinetics for Petroleum and Environmental Engineers, Scrivener Publishing, Wiley.
- [5] Donald, G., Hill (Hillpetro), Chilingar, G.V., (U.of Southern California), Wittle, J.K., (Electro-Petroleum Inc.), DOI <https://doi.org/10.2118/114012-MS>., Documen IDSPE-11402-M., S Publisher, Society of Petroleum Engineers.
- [6] Rukmana, D., Kristanto, D., Dedi V., C.A., Teknik Reservoir, Teori dan Aplikasi, Penerbit-Percetakan Pohon Cahaya, Yogyakarta.
- [6] EOR, Antara Kebutuhan dan Tantangan, *BULETIN SKK MIGAS* No.14 I Maret 20
- [7] Ghazanfari, E., (2013), Development of a Mathematical Model for Electrically Assisted Oil Transport in Porous Media, Theses and Dissertations, Lehigh University.
- [8] Rehman, M.M., Meribout, M., Conventional versus electrical enhanced oil recovery: review, *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, December 2012, Volume 2, Issue, pp 157-167
- [9] Sater, A., Thakur, G.C., Integrated Petroleum Reservoir Management: a team approach, publisher paennWell Books, 1994
- [10] Wittle, J.K., SPE, Electro-Petroleum, Inc.; Hill, D.G., SPE, and Chilingar, G.V., SPE, Direct Current Electrical Enhanced Oil Recovery in Heavy-Oil Reservoirs To Improve Recovery, Reduce Water Cut, and Reduce H₂S Production While Increasing API Gravity. Source SPE Western Regional and Pacific Section AAPG Joint Meeting, 29 March-4 April, Bakersfield, California, USA. Publication Date 2008.

PENULIS :

Ir. Nyoman Witasta, MT. Staf Dosen Program Studi Teknik Geologi, Fakultas Teknik – Universitas Pakuan, Bogor.